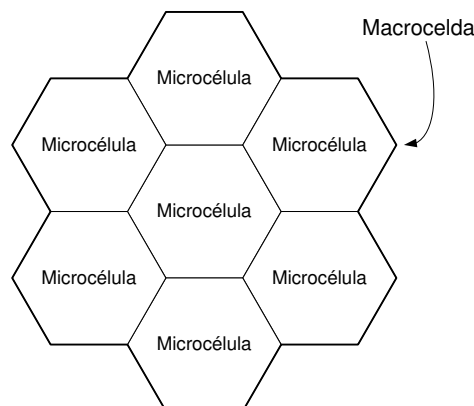


Tema 3 - Comunicaciones móviles  
Hoja de problemas

**Problema 1.** En un sistema de comunicaciones móviles se quiere dar servicio a los terminales transportados por viandantes y a los emplazados en los coches. Para evitar tener una cadencia de traspasos elevada, se dispone de dos tamaños de células, macrocélulas y microcélulas, asignando canales a los terminales según los siguientes criterios:

- Un terminal de coche ha de emplear siempre un canal de macrocélula.
- Un viandante ha de utilizar un canal de la microcélula, pero podrá hacer uso de la macrocélula en caso de que la microcélula donde está situado no tenga canales disponibles.

Una microcélula tiene un radio,  $R$ , de 200 m y una macrocélula está constituida por 7 microcélulas.



Sabiendo que:

- Densidad de viandantes que transportan un terminal: 200 viandantes/ $\text{Km}^2$
- Densidad de coches que disponen de un terminal: 500 coches/ $\text{Km}^2$
- Tráfico por terminal de viandante: 0.025 Erlangs.
- Tráfico por terminal de coche: 0.05 Erlangs.

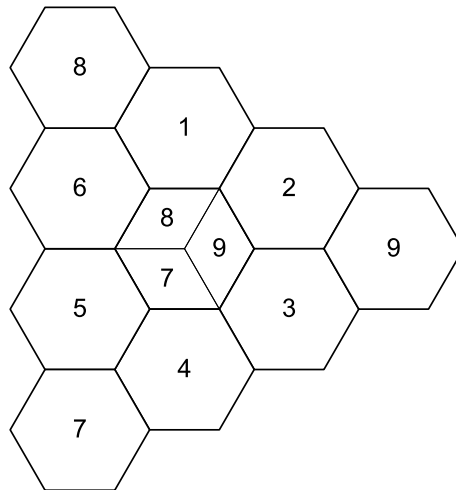
Se pide dimensionar el número de canales en un microcelda y en una macrocelda para que:

- (a) La probabilidad de que una llamada no pueda establecerse por falta de canal en la microcélula sea inferior a 0.1.

- (b) La probabilidad de que una llamada no pueda establecerse por falta de canal en la macrocélula sea inferior a 0.02.

Nota:  $A_{\text{hexágono}} = \frac{3\sqrt{3}}{2}R^2$

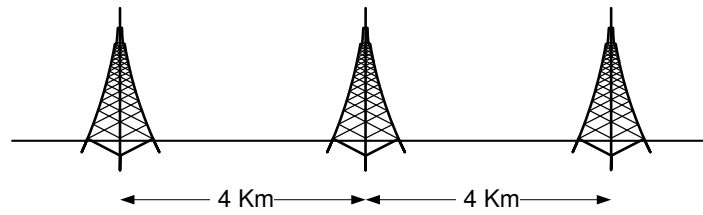
**Problema 2.** Se ha planificado un sistema de telefonía móvil celular para proporcionar servicio al área que se representa en la figura, asignando los grupo de canales indicados.



La densidad de usuarios es de  $d_1 = 7.7$  usuarios/ $\text{Km}^2$  en todas las células excepto en el núcleo central que es de  $d_2 = 2.5d_1$  usuarios/ $\text{Km}^2$ . Dado que en este núcleo la densidad es más grande, se han ubicado antenas sectoriales, cada una de las cuales cubre la tercera parte del área total del núcleo. El tráfico por usuario es 0.05 Erlangs y el factor de pérdidas de propagación es  $\gamma = 4$ .

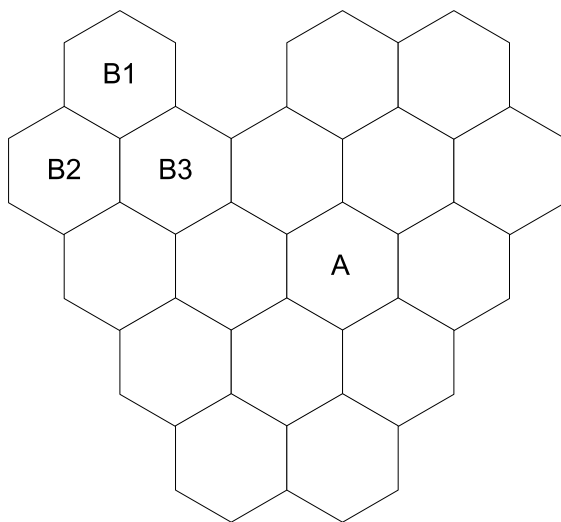
- Calcular el radio de la célula para que, asignando 4 canales por célula, la  $PB$  sea inferior al 2%.
- Calcular la relación  $C/I$ .
- Indicar cómo se reasignarían las frecuencias en el núcleo central a fin de mejorar la interferencia cocanal.
- Con la nueva asignación, calcular la interferencia cocanal.
- Con la nueva asignación, además de una mejora de relación  $C/I$ , ¿qué beneficio adicional se ha conseguido?

**Problema 3.** Se desea instalar un sistema de telefonía móvil celular en una carretera de trazado rectilíneo para lo cual se pretende emplear antenas direccionales que radien en los dos sentidos. La distancia entre las posiciones de las antenas es de 4 Km.



- Admitiendo que el factor de pérdidas es  $\gamma = 3$ , determinar el número de células por cluster si se desea tener un  $C/I > 15$  dB. En el cálculo considerar únicamente las dos interferencias más próximas.
- Si el tráfico por terminal es de 0.05 Erlangs, asumiendo que el 10% de los automóviles llevan un terminal y que la densidad de vehículos en situación normal es de 40 vehículos por Km, determinar cuántos circuitos son necesarios para proporcionar un servicio con una probabilidad de bloqueo inferior al 2%.
- Determinar cuántas frecuencias son necesarias para dar servicio al sistema.
- ¿Cómo se asignaría las frecuencias a cada célula?

**Problema 4.** Supongamos que un área se tesela hexagonalmente con células de radio  $R = 1$  Km y que dichas células se agrupan en un cluster de 3, tal como se indica en el dibujo.



- B1: Grupo de canales 1
- B2: Grupo de canales 2
- B3: Grupo de canales 3

- La densidad de habitantes de la zona es  $d = 70$  habitantes/Km<sup>2</sup>, siendo el factor de penetración del 40%.
- El tráfico por usuarios es de 0.1 Erlangs y el factor de propagación es  $\gamma = 4$ .

- Se dispone de 1 MHz de ancho de banda total para los canales de subida y 1 MHz de ancho de banda total para los canales de bajada, con anchura de banda por canal de 25 KHz.
  - Para el cálculo de la relación  $C/I$  considerar las señales interferentes a distancia de reuso  $D$ .
- (a) De cuántos clusters completos se dispone. A cuántos usuarios más se podría dar cobertura si se reutilizan todas las frecuencias el mismo número de veces.
- (b) Calcular la probabilidad de bloqueo de una célula.
- (c) Calcular la relación  $C/I$  para la célula  $A$ .

Por razones de mercado se ha decidido empeorar el Grado de Servicio y mejorar la calidad de la conversación. Para ello, se ha planteado incrementar la  $C/I$  del apartado anterior en 3 dB.

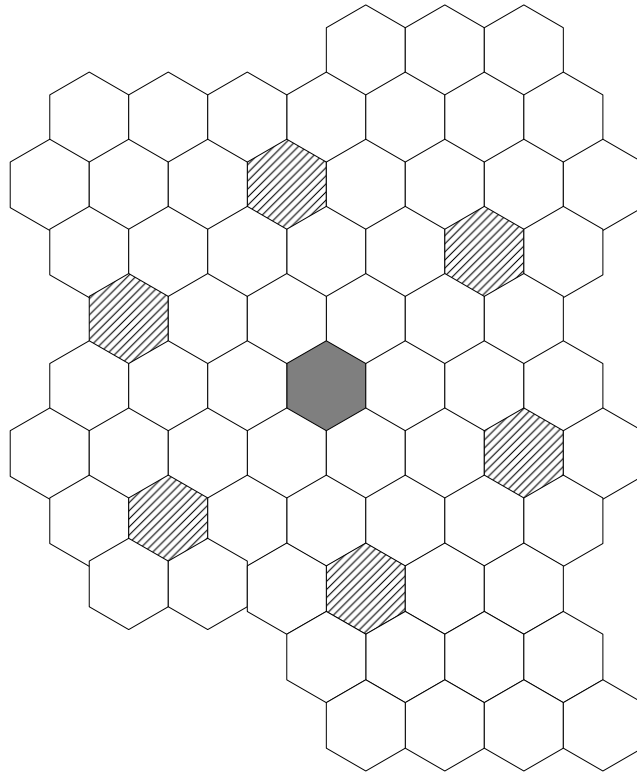
- (d) Calcular el tamaño mínimo del cluster necesario.  
*Nota: La célula indicada con B1 siempre pertenece a un cluster completo*
- (e) Calcular la nueva probabilidad de bloqueo.

**Problema 5.** Se quiere diseñar un sistema de comunicaciones móviles que proporcione cobertura a una zona rural en la que habrá una densidad de abonados de  $d = 6$  abonados/ $\text{Km}^2$  con un tráfico por terminal de 0.05 Erlangs. Se considera una geometría celular hexagonal donde cada célula tiene un área de  $20 \text{ Km}^2$ . En el cálculo de la relación  $C/I$  se tiene en cuenta únicamente la primera corona interferente y se supone que todas las estaciones base interferentes se encuentran a la distancia de reuso,  $D$ , del punto de cálculo de la relación  $C/I$ . El coeficiente de pérdidas de propagación es  $\gamma = 4$ .

Si se requiere  $C/I > 18$  dB, calcular:

- (a) El valor del cluster,  $N$ , necesario.
- (b) El número de canales por estación base necesario para dar un grado de servicio del 2%.

Para aumentar el número de abonados a los que se dará servicio, se propone usar antenas directivas de tres sectores, en lugar de emplear antenas omnidireccionales. Ello implica que cada célula se divide en tres sectores utilizando 3 antenas directivas en cada estación base. A cada sector, y por tanto en cada antena, se le asigna en exclusiva un grupo de frecuencias diferentes (la tercera parte de las que se asignarían a una antena omnidireccional).



- (c) Considerando el mismo valor del cluster que el calculado en el apartado 1, calcular la relación  $C/I$  del sistema si se hace uso de estaciones base trisectoriales.
- (d) Si el requerimiento es que  $C/I > 18$  dB, cuál es el valor mínimo del cluster que se podría utilizar.
- (e) Con el nuevo valor de cluster obtenido en el apartado anterior y con el mismo número total de frecuencias que en el primer diseño (es decir, con antenas omnidireccionales), calcular a qué densidad de abonados podría dar servicio el sistema, conservando el mismo grado de servicio.

**Problema 6.** En un sistema de comunicaciones móviles que cubre una autopista se emplean antenas **bidireccionales** (antenas que radian en los dos sentidos). Suponiendo que la mínima relación señal útil a interferencia es de 20 dB y que el coeficiente de pérdidas de propagación es de 2.5, se pide:

- (a) Calcular el tamaño del cluster,  $N$ , considerando las dos primeras interferencias.

Considerando que el tamaño de una célula es de 5 Km, la densidad de vehículos de 500 vehículos/Km, la probabilidad de que un vehículo tenga terminal móvil igual a 0.1 y el tráfico ofrecido por terminal móvil 0.05 Erlangs,

- (b) Calcular el número de circuitos necesarios para tener un grado de servicio mejor que el 2%.
- (c) Determinar el número de frecuencias necesarias para el sistema.
- (d) Para el mismo entorno, determinar el número de frecuencias necesarias en el caso que las antenas sean unidireccionales (antenas que radian en un único sentido) y considerando exclusivamente el primer emplazamiento interferente.
- (e) Para el mismo entorno determinar el número de frecuencias necesarias en el caso en que las antenas sean unidireccionales pero considerando dos emplazamientos interferentes.

**Problema 7.** Sea un sistema de comunicaciones móviles que cubre una autopista con antenas unidireccionales (antenas que radian en un solo sentido) separadas 1 Km entre ellas. Si la relación  $C/I$  mínima debe ser de 20 dB (considerar únicamente la contribución de la primera 'corona') y las pérdidas de propagación varían con el cubo de la distancia ( $\gamma = 3$ ), determinar:

- (a) Número de células por cluster.

Suponiendo que la densidad lineal de usuarios es de 30 abonados/Km y por sentido de circulación, el tráfico por terminal es de 0,05 Erlangs, calcular:

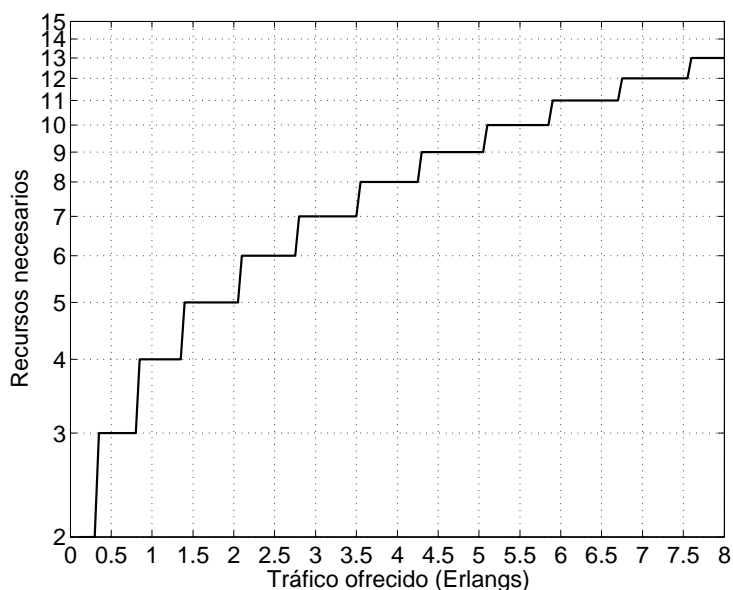
- (b) Número total de canales necesarios para obtener un grado de servicio del 2%.
- (c) Número total de frecuencias.
- (d) Proporcionar una asignación de frecuencias.

**Problema 8.** Una compañía de comunicaciones móviles pretende diseñar una red celular para dar servicio en una zona con una densidad de usuarios de  $\alpha$  usuarios/km<sup>2</sup>. Para ello dispone de antenas omnidireccionales con una cobertura de  $R$  m. Asumiendo una teselación hexagonal, se pide:

- (a) Calcular el factor de reuso máximo para alcanzar un grado de servicio del 4%, teniendo en cuenta que el ancho de banda total que dispone la operadora es de 1.68 Mbps y que cada canal ocupa 20 kbps. Asumir que  $\alpha = 18$  usuarios/km<sup>2</sup>, que el tráfico medio por usuario es de 0.06 Erlangs y que  $R = 1.4$  km.
- (b) Los terminales que dicha compañía ofrece a sus usuarios necesitan una  $C/I$  mínima de 14 dB ¿Se cubre dicho objetivo con la configuración derivada en el apartado anterior? Asumir que el exponente de pérdidas de propagación es  $\gamma = 3$ .

- (c) Para incrementar la calidad de la señal se decide emplear sectorización, utilizando antenas que emiten un haz de un ángulo de  $180^\circ$ . Calcular la nueva  $C/I$  en el sistema. ¿Se logra alcanzar el valor objetivo?
- (d) Se supone ahora que las antenas del apartado anterior no son ideales, y que radían cierta señal espúrea en el semiplano opuesto ( $\sigma$  veces lo emitido en el haz de interés); se pide calcular la nueva  $C/I$  en función de  $\sigma$ . ¿Cuál es el valor máximo de  $\sigma$  que permite llegar a alcanzar la  $C/I$  objetivo?

**Ayuda:**  $A_{\text{hexágono}} = \frac{3\sqrt{3}}{2}R^2$



Curva de *Erlang-B* para una pérdida del 4%

**Problema 9.** Un operador de comunicaciones móviles cuenta con  $[24 + 24]$  canales (*ascendentes + descendentes*) para dar servicio a sus usuarios a lo largo de una autopista. Además, dispone de antenas *unidireccionales* con un alcance de  $L = 4$  km (longitud de celda) que emiten cierta potencia (no deseada) en el sentido contrario (15%). Teniendo en cuenta que los móviles requieren de una  $C/I$  mínima de 15 dB, se pide:

- (a) Calcular el factor de re-uso ( $K$ ), asumiendo que el exponente de pérdidas de propagación es  $\gamma = 3$ . Para el cálculo de la interferencia, considerar únicamente las antenas a una distancia menor de  $2(K - 1)L$ .
- (b) La compañía dispone de la siguiente información:
- Densidad de vehículos:  $\alpha = 7.5$  coches/km
  - Móviles por coche:  $\beta = 4/3$  teléfonos/coche
  - Tráfico por terminal:  $\rho = 0.05$  Erlangs

- ¿Es capaz de ofrecer un  $GoS$  del 98 % con la configuración calculada previamente?
- (c) Durante la época de vacaciones, la densidad de vehículos aumenta a  $\alpha = 9$  coches/km, mientras que el número de móviles por coche ( $\beta$ ) crece a  $5/3$  (se mantiene el tráfico generado por terminal) ¿Se puede mantener la calidad del servicio para la nueva demanda con la configuración establecida previamente?
- (d) Para incrementar el  $GoS$  sin aumentar el número de frecuencias, la empresa plantea modificar las antenas, para que emitan en ambos sentidos (*bidireccionales*), manteniendo la misma longitud de la célula. Calcular el nuevo número de celdas por cluster. ¿Se alcanza ahora el  $GoS$  objetivo?

*Nota:* En este caso no es necesario considerar emisiones espurias.

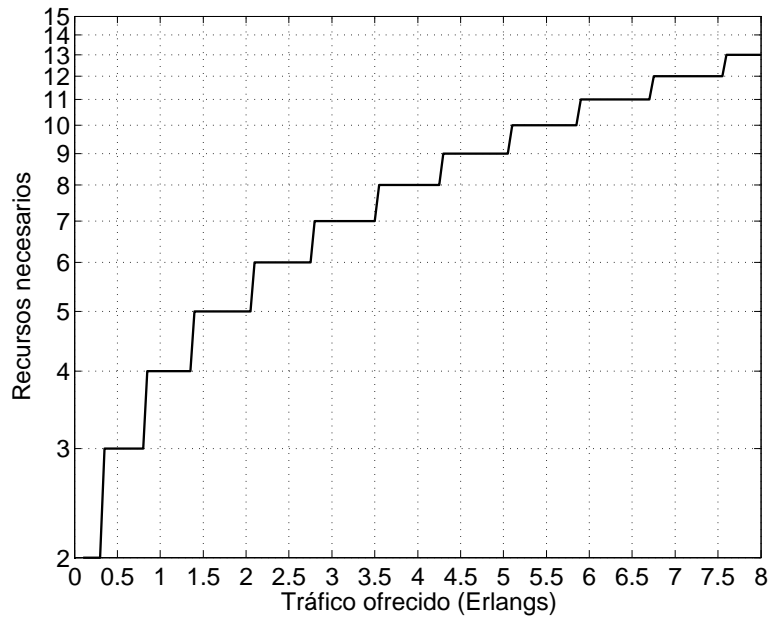
**Problema 10.** Un operador de comunicaciones móviles cuenta con  $[24 + 24]$  canales (*[ascendentes + descendentes]*) para dar servicio a sus usuarios a lo largo de una autopista. Además, dispone de antenas *unidireccionales* con un alcance de  $L = 4$  km (longitud de celda):

- (a) Si se sabe que los teléfonos móviles requieren de una  $C/I$  mínima de 15 dB, calcular el factor de re-uso ( $K$ ), asumiendo que el exponente de pérdidas de propagación es  $\gamma = 3$ . Para el cálculo de la interferencia, considerar únicamente las antenas a una distancia menor de  $2(K - 1)L$  (aquellas que están en la primera corona).
- (b) A la hora de adquirir las antenas, el fabricante le advierte que éstas emiten cierta potencia *espuria* (no deseada) en el sentido contrario al del haz principal. ¿Cuál es el máximo porcentaje  $\sigma$  asociado a dicha radiación para que se pueda mantener el tamaño del cluster calculado previamente?
- (c) La compañía dispone de la siguiente información:
- Móviles por coche:  $\beta = 4/3$  teléfonos/coche
  - Tráfico por terminal:  $\rho = 0.05$  Erlangs

Calcular la densidad de coches ( $\alpha$ ) máxima a la que se podría dar servicio para mantener un  $GoS$  del 96 %.

- (d) Durante la época de vacaciones, la densidad de vehículos aumenta a  $\alpha = 18$  coches/km, mientras que el número de móviles por coche ( $\beta$ ) crece a  $5/3$  (se mantiene el tráfico generado por terminal) ¿Se puede mantener la calidad del servicio para la nueva demanda con la configuración establecida previamente? ¿Cuántos canales adicionales necesitaría el operador para proporcionar el servicio con el mismo  $GoS$ ?



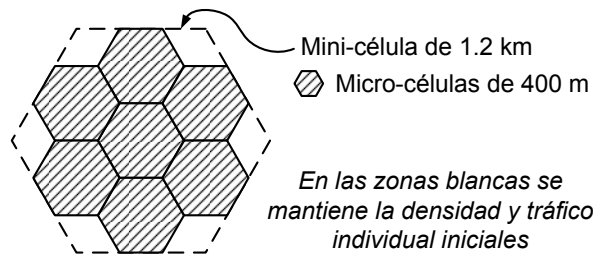


Curva de Erlang-B para una pérdida del 4%

**Problema 11.** Un operador de comunicaciones móviles tiene una capacidad total de 1.6 Mhz para dar servicio de telefonía en una zona rural (con este ancho de banda tiene que cubrir tanto los canales ascendentes como los descendentes). Para ello dispone de antenas omnidireccionales, con un alcance de 1.2 Km. Si se sabe que la anchura de un canal es de 20 KHz y que la densidad de usuarios es de  $\alpha = 20 \text{ habitantes/km}^2$ , se pide:

- Calcular el factor de re-uso máximo ( $N$ ), teniendo en cuenta que el tráfico por usuario se ha estimado en  $\rho = \frac{100}{3} \text{ miliErlangs}$ , y que se pretende alcanzar un GoS del 97%.
- Asumiendo que sólo hay interferencia co-canal y que se necesita una relación CIR mayor de 13 dB, ¿se podría utilizar la configuración calculada anteriormente? Aplicar un exponente de pérdidas de propagación  $\gamma = 4$ .  
*Considerar únicamente la primera corona para calcular la interferencia co-canal y que, además, todas las células interferentes se encuentran a la distancia de reuso.*
- Durante el despliegue de la red, los ingenieros se percatan que además de la co-canal, hay otras fuentes de interferencia que podrían afectar al comportamiento del sistema. Asumiendo que dicha interferencia adicional se puede expresar como un porcentaje de la co-canal, ¿cuál sería el valor máximo admisible para dicho porcentaje?

En un momento determinado se decide establecer un parque tecnológico en la zona. Se estima que la densidad de usuarios se incrementa hasta  $80 \text{ habitantes/km}^2$ , y que el tráfico individual crece hasta  $\rho = 60 \text{ miliErlangs}$ . La empresa se plantea incorporar un cluster adicional de 7 micro-células (con un radio de 400 m) para cubrir dicho área, como se muestra en la figura.



- (d) Calcular el número de canales que harían falta para mantener el  $GoS$  anterior, asumiendo que las llamadas en la zona cubierta por el *cluster* de micro-células serían atendidas únicamente por el nuevo despliegue de red.

La empresa pretende aprovechar la infraestructura de red inicial, para lo que plantea una segunda alternativa. En esta ocasión se utilizarán menos canales en el nuevo despliegue, pero las llamadas que no puedan ser atendidas por la micro-célula (primera elección) serían desbordadas a la mini-célula.

- (e) Dimensionar nuevamente el número de canales necesarios en el *cluster* de micro-células, teniendo en cuenta que la ocupación mínima requerida es del 50 % para un canal cualquiera.  
*Suponer que la ocupación de canales es aleatoria.*
- (f) ¿Cuál es la nueva probabilidad de bloqueo en la zona cubierta por las 7 micro-células?  
*Asumir independencia entre las ocupaciones de las micro-células y la mini-célula y que el tráfico desbordado sigue una distribución de Poisson.*

**Ayuda:**  $A_{\text{hexágono}} = \frac{3\sqrt{3}}{2}R^2$

**Problema 12.** Un operador de comunicaciones móviles pretende establecer una red a lo largo de una autopista. Para ello dispone de antenas *unidireccionales* con un alcance de  $L = 4$  km (longitud de celda). Teniendo en cuenta que los móviles requieren de una  $C/I$  mínima de 13 dB, se pide:

- (a) Calcular el factor de re-uso ( $K$ ) mínimo, asumiendo que el exponente de pérdidas de propagación es  $\gamma = 2.3$ . Para el cálculo de la interferencia, considerar la influencia de las dos primeras coronas interferentes.
- (b) La compañía dispone de la siguiente información:
- Densidad de vehículos:  $\alpha = 7.5$  coches/km
  - Móviles por coche:  $\beta = 4/3$  teléfonos/coche
  - Tráfico por terminal:  $\rho = 0.05$  Erlangs

Calcular el número de canales necesarios en el sistema para ofrecer un  $GoS$  del 98 %.

- (c) Cuando la red comienza a operar, la compañía se percató de que las estimaciones iniciales de tráfico eran incorrectas y que realmente hay una densidad de  $\alpha =$

15 coches/km; calcular el número de canales necesarios para satisfacer dicha demanda.

La compañía se plantea otra alternativa para satisfacer la nueva demanda de tráfico. Adquiere un segundo conjunto de antenas, unidireccionales y con un alcance de  $2L$ . Dichas antenas se sitúan junto con las desplegadas inicialmente (utilizando los mástiles existentes que fueran necesarios). Cuando se produce una llamada, esta se atiende con las antenas de alcance  $L$  y, únicamente cuando no exista capacidad en éstas, se utilizaría el nuevo despliegue de red.

- (d) Calcular el número de canales que serían necesarios en el subsistema de antenas de primera opción, para que la ocupación mínima de cada uno de ellos (se supone aleatoria) sea del 75 %.
- (e) Asumiendo independencia, calcular la probabilidad de bloqueo máxima de una célula del segundo subsistema para alcanzar el *GoS* anterior.
- (f) Teniendo en cuenta que para el cálculo de la interferencia en el subsistema de las nuevas antenas sólo es necesario considerar la primera corona interferente, obtener el número total de canales necesarios con esta configuración, contando los dos subsistemas existentes.

*Asumir que los dos tipos de antena no se interfieren entre ellas.*

**Problema 13.** Un operador de comunicaciones móviles (operador **A**) pretende instalar una red para dar servicio a lo largo de una autopista. Para ello dispone de antenas *bidireccionales*, con un alcance de 1.5 Km en cada sentido. La empresa maneja los siguientes datos para estimar la demanda de tráfico.

- Densidad de coches:  $\alpha = 20$  coches/Km
- Móviles por coche:  $\beta = 4/3$  teléfonos/coche
- Tráfico por terminal:  $\rho = 0.05$  Erlangs

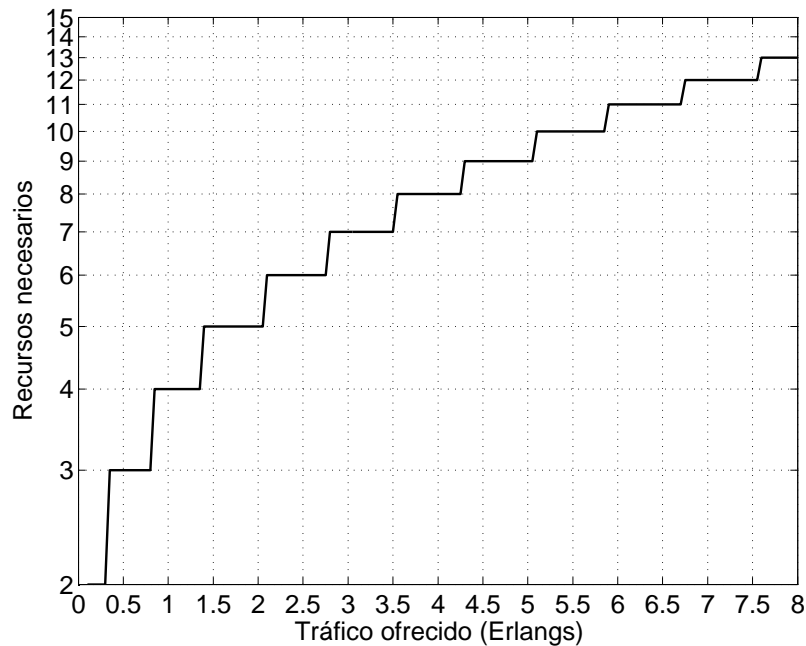
Se necesita garantizar una relación *CIR* de 12 dB para que la calidad de las conversaciones sea aceptable y se sabe que el exponente de pérdidas de propagación es  $\gamma = 2.3$ .

- (a) Si se pretende alcanzar un *GoS* del 4 %, ¿cuántos canales necesitará el operador?

A los pocos meses de explotación, aparece un operador incumbente (**B**), que establece su propia estructura de red. Se estima que dicha infraestructura podría llegar a generar una interferencia adicional de 3 dB sobre la del operador **A**.

- (b) ¿Cuál es el porcentaje mínimo de usuarios que tendrían que cambiarse al operador **B** para que el operador **A** no tuviera que adquirir mayor capacidad, manteniendo la misma calidad de servicio?

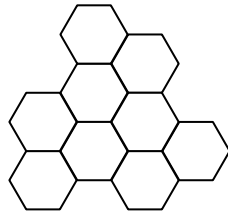
Para el cálculo de la interferencia co-canal, considerar únicamente la primera corona interferente.



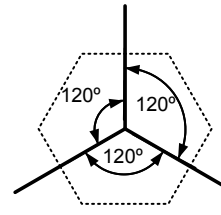
Curva de Erlang-B para una pérdida del 4%

**Problema 14.** Un operador de comunicaciones móviles tiene una capacidad total de 60 canales para dar servicio de telefonía en una zona rural (con ellos tiene que cubrir tanto el tráfico ascendente como el descendente). Para ello dispone de antenas omnidireccionales, con un alcance de 1.2 Km y se sabe que la densidad de usuarios es de  $\alpha = 24 \text{ habitantes/km}^2$ . A la hora de desplegar las estaciones base, el operador establece la configuración que aparece en la figura, con la que cubre todo el área de interés.

- Calcular el factor de re-uso máximo, asumiendo que el tráfico por usuario se ha estimado en  $\rho = 50 \text{ miliErlangs}$ , y que se pretende alcanzar un *GoS* del 98%.
- Asumiendo que sólo hay interferencia co-canal y que se necesita una relación *CIR* mayor de 11 dB, ¿se podría utilizar la configuración calculada anteriormente? Aplicar un exponente de pérdidas de propagación  $\gamma = 3$ .  
*Considerar que las células interferentes se encuentran a la distancia de reuso.*
- Para tener mayor margen en la *CIR*, el operador se plantea llegar hasta los 12 dB, para lo que pretende utilizar una sectorización a 120°, utilizando un diagrama de radiación como el mostrado en la figura. ¿Qué ganancia se obtiene en términos de *CIR*? ¿Qué inconveniente plantea esta solución?
- ¿Habría alguna alternativa adicional para llegar a los 12 dB? Comentar sus ventajas y desventajas.

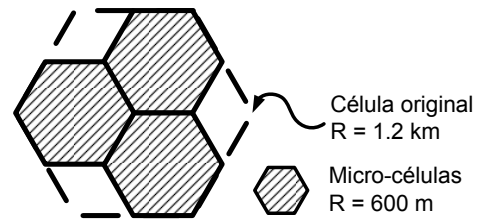


Despliegue inicial de la red



Sectorización a 120°: diagrama de radiación

Para potenciar el turismo en la zona, se abre un complejo residencial en un área que coincide con una de las celdas establecidas por el operador (*asumir que se usa el despliegue del apartado (a)*). Como consecuencia, se incrementa la densidad de usuarios (en toda la superficie de la celda original) hasta los  $\alpha = 42 \text{ habitantes/km}^2$ . La empresa se plantea incorporar un *cluster* adicional de 3 micro-células (con un radio de 600 m) para satisfacer la mayor demanda, tal y como se muestra en la figura.



Así, las llamadas en el complejo serán atendidas por el nuevo despliegue de red y, en caso de que no tuviera recursos, se desbordarían al sistema original.

- (e) ¿Cuántos canales son necesarios en el *cluster* de micro-células, teniendo en cuenta que la ocupación mínima requerida es del 55 % para un canal cualquiera?  
*Suponer que la ocupación de canales es aleatoria.*
- (f) Calcular la probabilidad de bloqueo en la zona cubierta por las 3 micro-células.  
*Asumir independencia entre las ocupaciones de las micro-células y la celda original y que el tráfico desbordado sigue una distribución de Poisson.*

**Ayuda:**  $A_{\text{hexágono}} = \frac{3\sqrt{3}}{2}R^2$

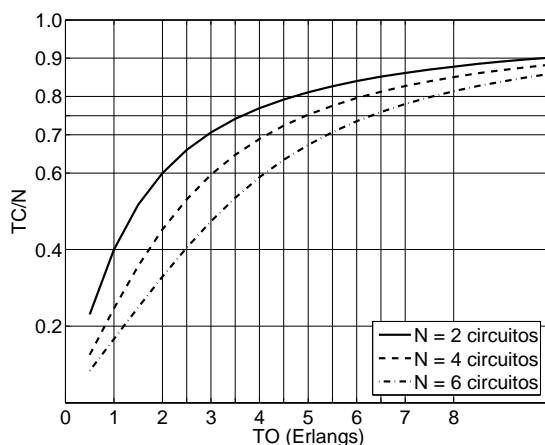
**Problema 15.** Un operador de comunicaciones móviles quiere desplegar una red de telefonía en una zona rural, que se supone de tamaño lo suficientemente extenso. Para ello dispone de antenas omnidireccionales, con un alcance de 1.2 Km, y estima una densidad de usuarios inicial de  $\alpha = 22.4 \text{ habitantes/km}^2$ .

- (a) Si el tráfico por usuario es  $\rho = 50 \text{ miliErlangs}$ , y pretende alcanzar un *GoS* del 96 %, ¿cuál es la capacidad total (número de canales) que necesita? Se asume que sólo hay interferencia co-canal y que se requiere una relación *CIR* mayor de 11 dB.  
*Considerar que las celdas interferentes se encuentran a la distancia de reuso. Aplicar un exponente de pérdidas de propagación  $\gamma = 4$ .*
- (b) A la hora de poner en marcha el sistema, los ingenieros se percatan de que debido a la presencia de otros operadores en la zona hay una interferencia adicional de 2 dB. ¿Se podría seguir empleando la configuración inicial? ¿Qué alternativa habría (para ofrecer el mismo grado de servicio) si se mantuvieran las antenas omnidireccionales?
- (c) Si la compañía pudiera utilizar antenas directivas de 180°, ¿cómo se podría satisfacer el grado de servicio requerido? Comparar las diferentes alternativas analizadas.

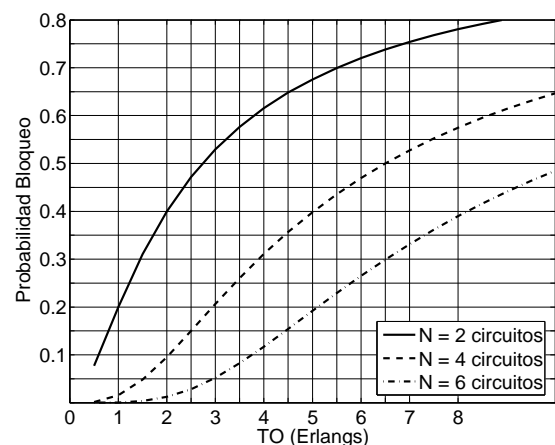
En las condiciones del apartado (b), el operador no puede disponer de la capacidad adicional necesaria, por lo que se tiene que plantear una alternativa diferente para garantizar un servicio adecuado a sus usuarios. Para ello contacta con un *Access Broker* para alquilar recursos. Teniendo en cuenta que el precio a pagar es elevado, el operador decide que las llamadas sean inicialmente atendidas por los canales alquilados y, cuando estén ocupados, se ofrezcan al despliegue propio y que, además, la ocupación mínima de un canal alquilado al *Access Broker* sea del 75%.

- (d) Si el *Access Broker* ofrece grupos de canales de  $M \cdot [2 + 2]$  (ascendentes + descendentes), ¿cuántos grupos necesitará alquilar el operador por cluster?  
*Suponer que la ocupación de canales es aleatoria.*
- (e) Establecer el nuevo grado de servicio.  
*Asumir independencia entre las ocupaciones de las canales alquilados al Access Broker y el despliegue original de red y que el tráfico desbordado sigue una distribución de Poisson.*
- (f) Repetir los dos anteriores apartados si se produce, además, un incremento en la densidad de usuarios, que pasa a ser de  $\alpha = 32 \text{ habitantes/km}^2$ .

**Ayuda:**  $A_{\text{hexágono}} = \frac{3\sqrt{3}}{2}R^2$



*Eficiencia en un sistema de pérdida pura con ocupación aleatoria*



*Probabilidad de bloqueo en un sistema de pérdida pura*

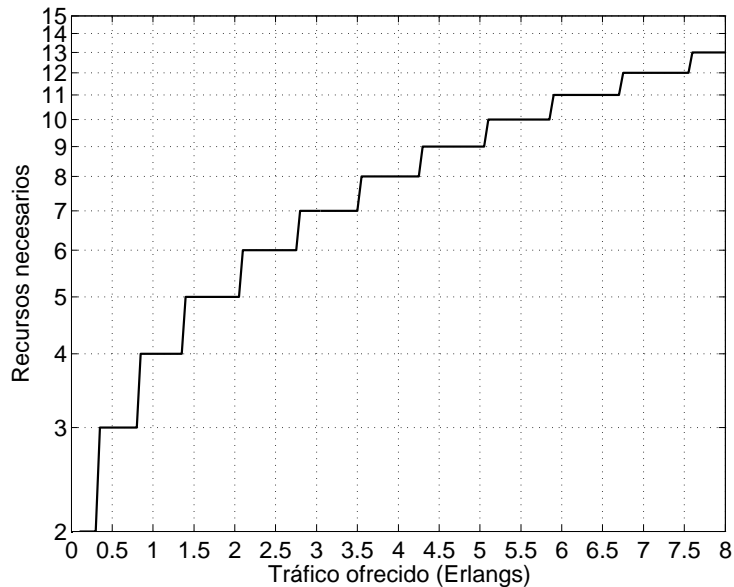
**Problema 16.** El operador de comunicaciones móviles **MoviliaSA** pretende instalar una red en una zona rural lo suficientemente extensa. Tiene antenas omnidireccionales, con un alcance de 1.2 Km, y adquiere una capacidad total de 100 canales - [50+50] (*ascendentes+descendentes*). Tras un análisis de mercado, la empresa estima los siguientes datos.

- Densidad de usuarios:  $\alpha = 20 \text{ habitantes/Km}^2$
  - Tráfico por usuario:  $\rho = 0.053 \text{ Erlangs}$
- (a) Si se pretende alcanzar un GoS del 4%, ¿cuál es el factor de reuso máximo que puede utilizar?
- (b) Debido a la gran cantidad de obra civil en la zona, es difícil establecer los parámetros del modelo de propagación. ¿Cuál es el valor mínimo del exponente de pérdidas ( $\gamma$ ) para que se

pueda emplear la configuración calculada en el apartado anterior, si se necesita que la *CIR* sea mayor de 13 dB? Para el cálculo de la interferencia co-canal, considerar únicamente la primera corona interferente y que las antenas interferentes están a la distancia de reuso.

A los pocos meses de explotación, aparece un operador de la competencia, que establece su propia estructura de red. Se estima que dicha infraestructura podría llegar a generar una interferencia adicional de 2 dB sobre la de **MoviliaSA**.

- (c) Establecer el factor de reuso mínimo en la red de **MoviliaSA** para mantener la *CIR* por encima de los 13 dB, utilizando un exponente de pérdidas  $\gamma = 4$ .
- (d) ¿Cuál es el porcentaje de usuarios mínimo que tendría que cambiarse al nuevo operador para que **MoviliaSA** mantuviera el *GoS* en el 4%?
- (e) ¿Podría utilizarse sectorización a  $120^\circ$ , manteniendo el factor de reuso del apartado (a), para garantizar el mismo *GoS*? Repetir el apartado (d) en este caso.

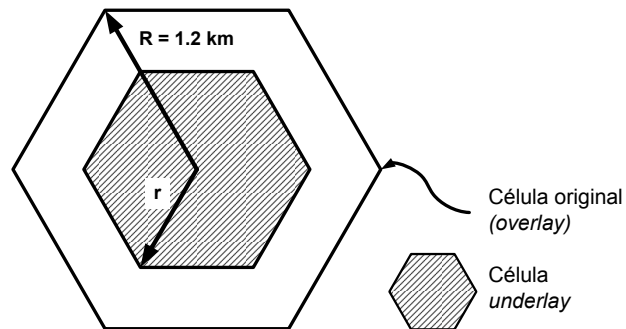


Curva de *Erlang-B* para una pérdida del 4%

**Problema 17.** Un operador de comunicaciones móviles tiene una capacidad total de 120 canales (60 para el tráfico ascendente y 60 para el descendente) para dar servicio de telefonía en una zona rural, disponiendo de antenas omnidireccionales con un alcance  $R = 1.2 \text{ km}$ .

- (a) Calcular el factor de re-uso mínimo, asumiendo que se necesita asegurar una *CIR* mayor de 11 dB y que el exponente de pérdidas de propagación se ha estimado en  $\gamma = 3.12$ . Considerar que las células interferentes se encuentran a la distancia de re-uso.
- (b) Si se estima que la densidad de población en la zona es de 21.33 habitantes/ $\text{km}^2$  y que el tráfico que genera cada usuario es de 50 *miliErlangs*, ¿se puede ofrecer un *GoS* del 98%?

La operadora se plantea la utilización de una técnica conocida como *underlay*. En ella, se establecen dos células a partir de la misma estación base (ver figura). Las llamadas se atenderán por una u otra célula, en función de la situación del usuario (*esto es, no hay desbordamiento*).



- (c) ¿Cuál es el radio máximo  $r_{\max}$  que puede tener la célula *underlay* si se pretende utilizar un factor de re-uso  $N = 3$  en ese despliegue?

*Se sigue considerando que la máxima CIR admisible es de 11 dB, el mismo exponente de pérdidas de propagación, y que todas las antenas interferentes están a la misma distancia, siendo ésta la que hay entre los emplazamientos de las estaciones base.*

- (d) ¿Cuántos canales son necesarios utilizar para el despliegue de células *underlay*, si se pretende que la probabilidad de bloqueo sea del 2% en ellas? ¿Cuál es la probabilidad de bloqueo resultante en las células *overlay*, teniendo en cuenta que el operador no adquiere más capacidad?

*Para este despliegue se mantiene el factor de re-uso calculado en el apartado (a).*

- (e) ¿Cuál es la probabilidad de bloqueo final?

*Calcular la probabilidad de que una llamada cualquiera se pierda, teniendo en cuenta que la densidad se considera constante en toda la zona.*

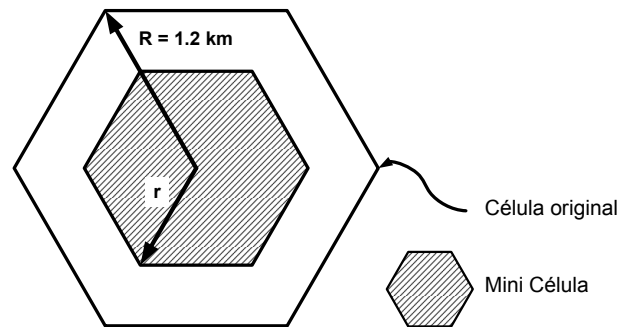
$$\text{Ayuda: } A_{\text{hexágono}} = \frac{3\sqrt{3}}{2}R^2$$

**Problema 18.** Un operador de comunicaciones móviles pretender diseñar una red para dar servicio de telefonía en una zona rural, disponiendo de antenas omnidireccionales con un alcance  $R = 1.2 \text{ km}$ .

- (a) Calcular el factor de re-uso mínimo, asumiendo que se necesita asegurar una *CIR* mayor de 11 dB y que el exponente de pérdidas de propagación se ha estimado en  $\gamma = 3.32$ .  
*Considerar que las células interferentes se encuentran a la distancia de re-uso.*
- (b) Si se estima que la densidad de población en la zona es de 16 habitantes/km<sup>2</sup> y que el tráfico que genera cada usuario es de 50 *miliErlangs*, ¿cuántos canales necesitaría adquirir el operador para ofrecer un *GoS* del 97%?



Debido a la instalación de una central de energía eólica en la zona, la densidad de usuarios en una de las células se incrementa hasta los  $21.33 \text{ habitantes/km}^2$ . Para garantizar un grado de servicio adecuado en dicha zona la operadora se plantea la instalación de una célula adicional (*mini-célula*), cuya antena se despliega en la misma localización que una de las originales (ver figura).



- (c) Calcular el alcance máximo permitido para la nueva antena si se estima que la instalación de la mini-célula genera una interferencia adicional sobre el despliegue original que se puede aproximar (en  $dB$ ) como  $I_{\text{adicional}} = 3.9r^2$ , donde  $r$  es el radio de la mini-célula en  $km$ .
- (d) La compañía decide utilizar una mini-célula con un alcance de  $r = 0.85 \text{ km}$ . En una primera configuración (*sin desbordamiento*) el tráfico en la zona cubierta por la mini-célula se reparte equitativamente entre ambas células, pero las llamadas que se pierden inicialmente no se desbordan. ¿Cuántos canales serían necesarios en la mini-célula para mantener el grado de servicio en el 97%?
- (e) El operador se plantea una solución alternativa, en la que todas las llamadas en la zona cubierta por la mini-célula sean ofrecidas inicialmente a ésta y, aquellas que no se puedan cursar, se desborden a la red original. Si se pretende que los canales de la mini-célula estén ocupados, al menos, el 60% del tiempo, ¿cuál es el número máximo de canales que se podrían poner en la mini-célula? Calcular la probabilidad de bloqueo en este caso.  
*Suponer que la ocupación de canales es aleatoria.*  
*Asumir independencia entre las ocupaciones de la mini-célula y el despliegue original y que el tráfico desbordado sigue una distribución de Poisson.*

**Ayuda:**  $A_{\text{hexágono}} = \frac{3\sqrt{3}}{2}R^2$